



23-24 Marzo 2021

Presentazione attività G.d.L ITCOLD Dispositivi di intercettazione e scarico

Principali aspetti e problemi sismici

Giorgia Faggiani (RSE)

NORMATIVA DI RIFERIMENTO



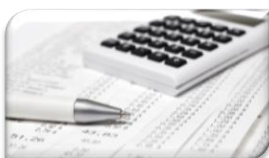
Normativa Italiana e Internazionale



Prestazioni richieste



Azioni e combinazioni di carico



Metodi di analisi

ESEMPI DI MODELLAZIONE NUMERICA



Esempi di modellazione numerica

Normativa di riferimento



- ❑ **Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse) – NTD2014**
D.M. 26 giugno 2014 e Circolare D.G.D 26 luglio 2018 n. 17281 e s.m.i.
- ❑ **Norme tecniche per le costruzioni – NTC2018**
D.M. 17 gennaio 2018 e Circolare C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019 n. 7
- ❑ **Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione**
Norma CNR UNI 10011/88
- ❑ **Hydraulic steel structures - Part 1: Criteria for design and calculation**
Norma DIN 19704-1, 2014
- ❑ **Seismic design and evaluation of structure appurtenant to dams**
ICOLD Bulletin 123, 2002
- ❑ **Technical standards for gates and penstocks**
Hydraulic Gate and Penstock Association (Japan), 1986
- ❑ **Design of hydraulic steel structures**
USACE ETL 1110-2-584, 2014



Prestazioni richieste



Allo sbarramento e a tutte le opere che con esso interagiscono si richiede (Circolare n. 17281)

- ✓ La capacità prestazionale necessaria all'**esercizio dell'opera (SLE)**
- ✓ La permanenza della **funzione di contenimento** dell'acqua di invaso e della **funzionalità degli organi necessari alla vuotatura controllata del serbatoio**, anche in caso di eventi estremi (**SLU**)

Stato Limite di Operatività (SLO)



gli scarichi di superficie e di fondo non hanno subito danni, le apparecchiature di manovra sono funzionanti (anche a seguito di manutenzione ordinaria)

Stato Limite di Danno (SLD)



gli scarichi di superficie e di fondo non hanno subito danni tali da comprometterne la funzione (gli scarichi di superficie possono smaltire la portata di progetto e quelli profondi permettono lo svuotamento del serbatoio); le apparecchiature di manovra sono funzionanti e azionabili con almeno una fonte di energia

Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)



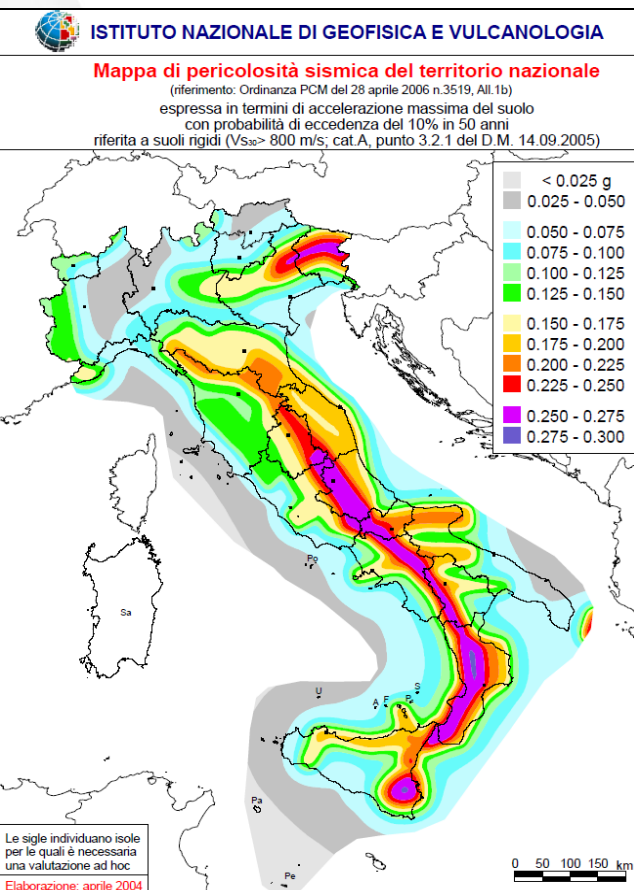
gli scarichi di superficie o di fondo hanno subito danni tali da metterli fuori servizio (lo scarico di superficie non può smaltire in sicurezza la portata di progetto e gli scarichi profondi non sono azionabili); il serbatoio deve essere svuotato ricorrendo a procedure d'urgenza

Azioni e combinazioni di carico



Combinazione Sismica (SLO, SLD e SLV)

$$\underbrace{E}_{\text{sismici}} + \underbrace{G_1 + G_2}_{\text{permanenti}} + \underbrace{\psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \dots}_{\text{variabili}}$$



➤ Azioni sismiche definite, per ciascuno stato limite, a partire dalla **pericolosità sismica di base** del sito.

❑ NTC2018

❑ Studio sismotettonico se $a_g \geq 0.15g$ a $T_R = 475$ anni

✓ Spettri di risposta

✓ Accelerogrammi

Figura modificata da:
USBR Report DSO 11-06

amplificazione
accelerazione



➤ **Interazione fluido-struttura** valutata in modo semplificato o più complesso:

- ✓ Westergaard & altre formulazioni
- ✓ Masse aggiunte
- ✓ Accoppiamento strutturale-acustico

Figura modificata da:
Lewin, 2001

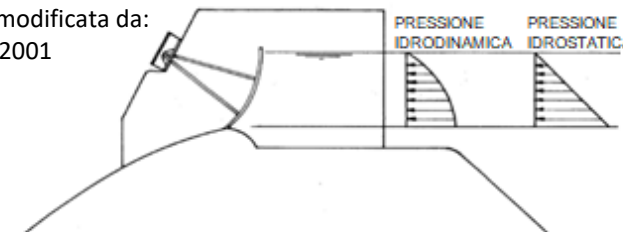
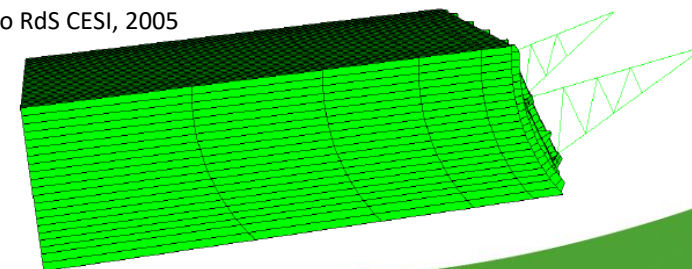


Figura modificata da:
Rapporto RdS CESI, 2005



Valutazione della sicurezza sismica: considerazioni preliminari



➤ Per le opere esistenti prima di procedere con la valutazione della sicurezza sismica di paratoie e organi di intercettazione è necessario esaminarne il **comportamento durante l'esercizio**, per evidenziare eventuali insufficienze originarie o criticità successivamente intervenute.

- ✓ indagine per verificare eventuali fenomeni di degrado
- ✓ esame dei dati di monitoraggio
- ✓ esame della risposta a eventuali eventi sismici precedenti



➤ Il **terremoto** costituisce una **fonte di pericolosità multipla** (Wieland, 2012 e 2017).

- ✓ scuotimento del terreno
- ✓ movimento di faglie
- ✓ sovrasollecitazioni conseguenti a tracimazione, frana delle sponde, caduta di massi o oggetti massivi
- ✓ fenomeni secondari indotti da danni causati dal terremoto ad altre strutture
- ✓ aftershock



➤ Uno studio limitato alla risposta sismica della sola paratoia non sempre risulta esaustivo: è necessario considerare l'**interazione con la struttura di supporto**, talora anche includendola nel modello.





Metodologia progressiva di analisi

Iniziando dal più semplice metodo conservativo appropriato al problema, si ricorre successivamente a metodi più complessi solo quando è necessario in base ai risultati ottenuti

➤ Analisi pseudo-statica

- ✓ con schemi 2D
- ✓ con schemi 3D (analisi FEM)



Ipotesi di
struttura rigida

$$f \geq 33 \text{ Hz}$$

$$a = \text{PGA}$$

$$f < 33 \text{ Hz (3-12 Hz range tipico)}$$

$$a = \text{dallo spettro per il 1° modo}$$
$$a = a_{1^{\circ} \text{ modo}} \times 1.5 \text{ (modi superiori)}$$

➤ Analisi a spettro di risposta (analisi FEM lineari)

- ✓ interazione fluido-struttura semplificata
- ✓ interazione fluido-struttura avanzata



Ipotesi di
comportamento
lineare



**INTERAZIONE CON LA
STRUTTURA DI SUPPORTO**

➤ Analisi di transitorio dinamico (con accelerogrammi)

- ✓ interazione fluido-struttura semplificata
- ✓ interazione fluido-struttura avanzata
- ✓ comportamento non-lineare dei materiali



Maggior costo
computazionale
e complessità

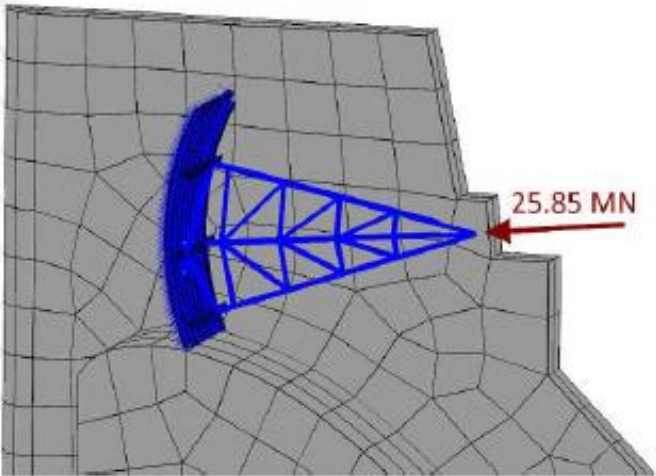
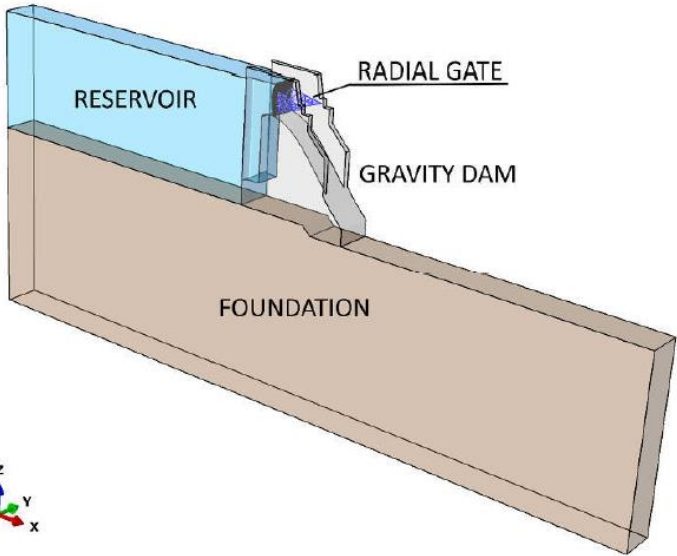
- ☐ includendo nell'analisi le pile e parte della struttura di supporto
- ☐ valutando le reazioni vincolari e gli spostamenti in corrispondenza dei perni, delle guide, delle pile, ecc.

Esempi di modellazione numerica (1/3)

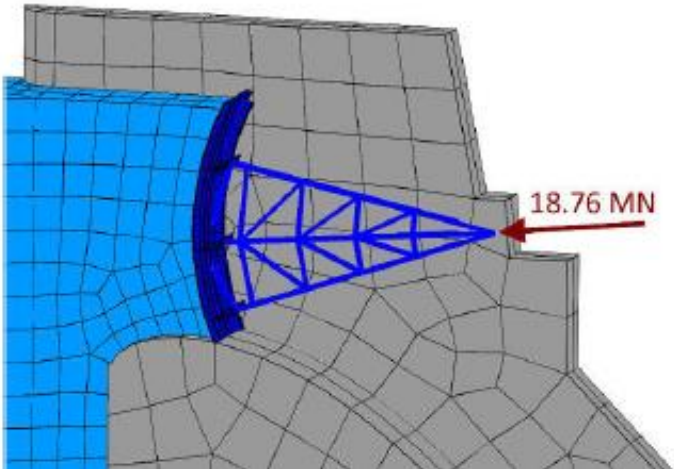


Stefan Pagger, BSc

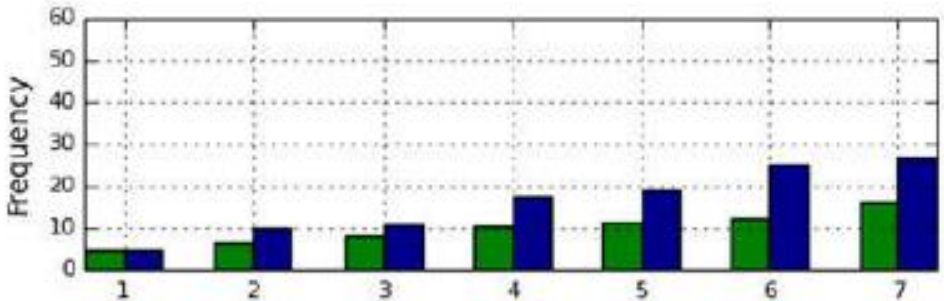
Radial Gate Excitation on a Gravity Dam due to Seismic Loading



Interazione fluido-struttura con masse aggiunte alla Westergaard

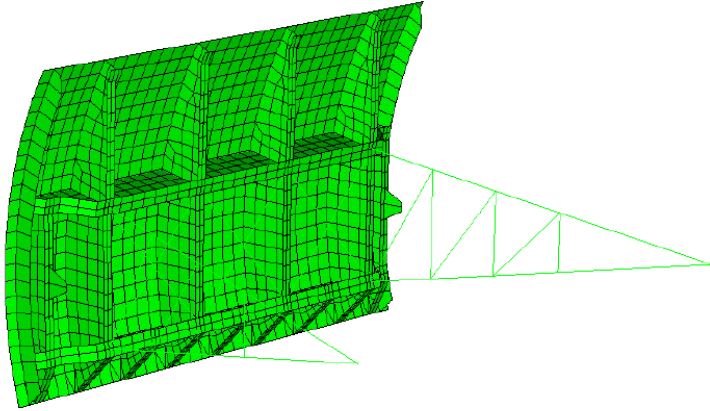


Interazione fluido-struttura con accoppiamento strutturale-acustico



Sovrastima dei risultati utilizzando il metodo alle masse aggiunte

Esempi di modellazione numerica (2/3)



- Analisi su due tipi di paratoia:
 - ✓ Paratoia a settore
 - ✓ Paratoia a settore con contrappeso

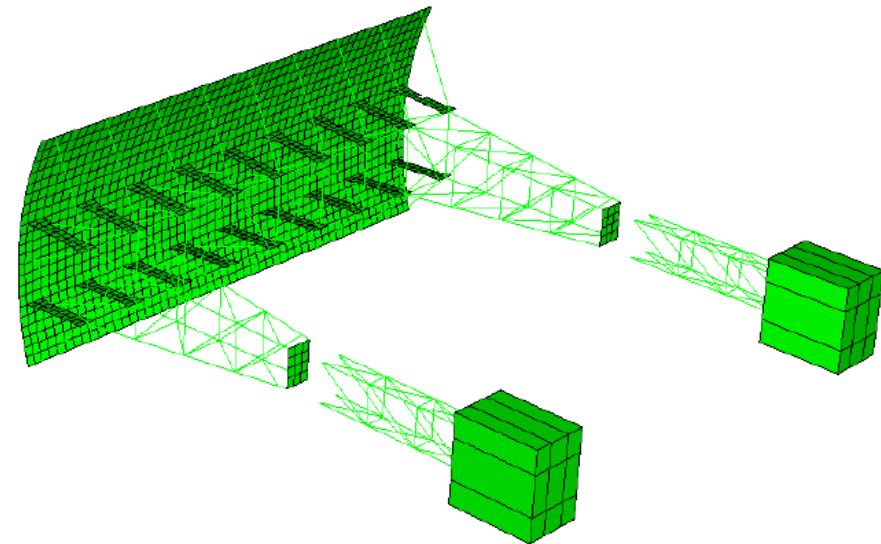


dimensionate secondo i criteri
(non sismici) adottati dal
dopoguerra fino ai primi anni '90

- Confronto fra metodi di analisi:
 - ✓ Analisi pseudo-statica (pressione idrodinamica valutata con formule di normativa)
 - ✓ Analisi di transitorio dinamico (interazione dinamica con il bacino con accoppiamento strutturale-acustico)

CONCLUSIONI EMERSE DALLO STUDIO

- I risultati dell'analisi **pseudo-statica non sempre** sono **a favore di sicurezza**, soprattutto quando il comportamento dinamico della struttura è descritto da più modi di vibrare
- Nella valutazione della sicurezza di strutture esistenti si può ricorrere ad analisi pseudo-statiche purché le verifiche siano soddisfatte con ampio margine, in caso contrario meglio optare per analisi di transitorio dinamico
- I **margini di sicurezza elevati** adottati nella **progettazione** possono garantire il **soddisfacimento** delle verifiche sismiche
- Paratoie a settore con contrappeso sono risultate molto vulnerabili all'azione sismica



Esempi di modellazione numerica (3/3)

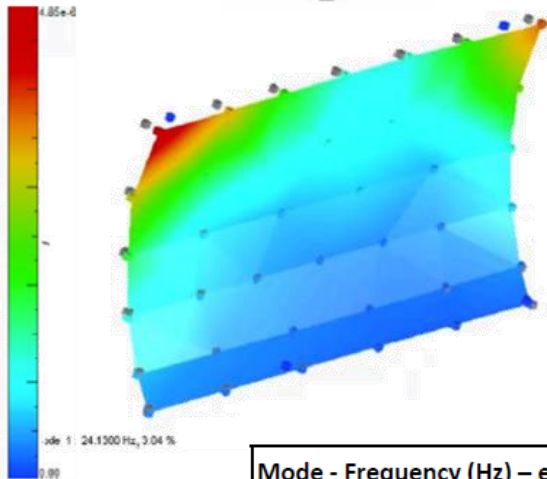
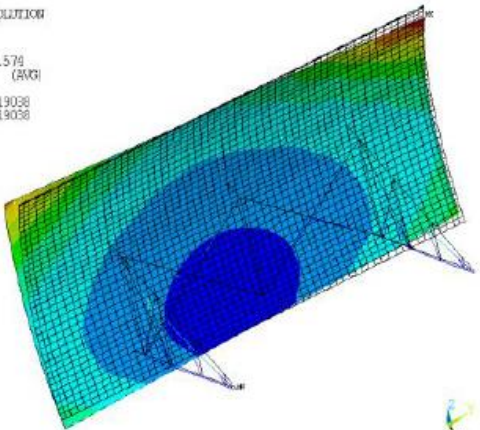


International Symposium
Qualification of dynamic analyses of dams and their equipments
and of probabilistic assessment seismic hazard in Europe
31th August – 2nd September 2016 – Saint-Malo

David GRAVELEINE
Vincent LHUILLIER

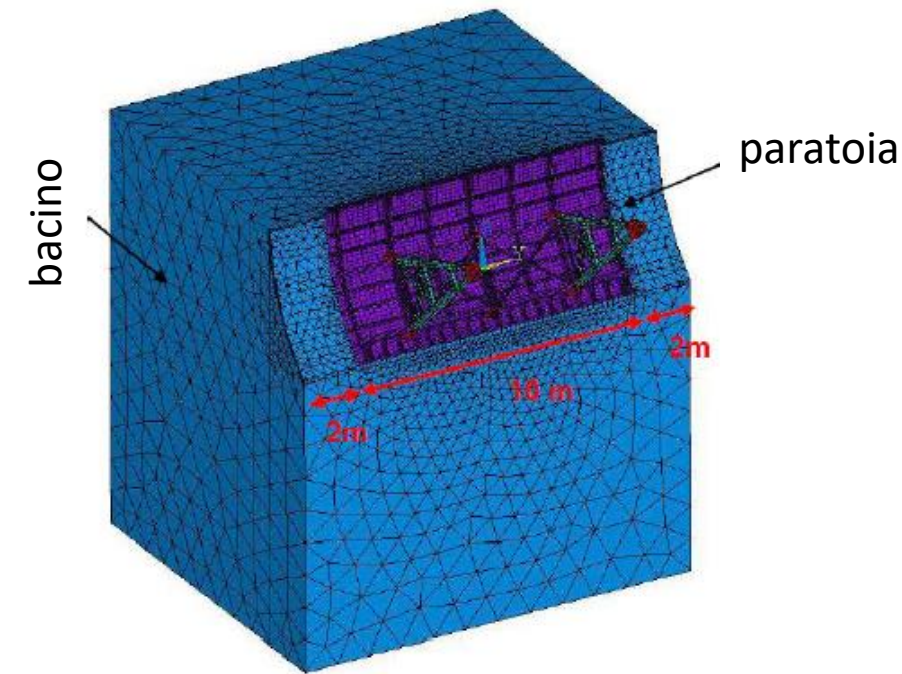


NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
FREQ=20.574
DETM (AVG)
REYS=0
DMX =1.19038
SMX =1.19038



Session 7 : Qualification of equipment

MODAL ANALYSIS OF GATES FEM Coupled with FSI Analysis Compared to On-Field Measurements



Mode - Frequency (Hz) – error (%) vs measurements	
Identified modes	Simulations vs Meas (error)
Mode 1 - 24.1Hz	Mode 1 - 20,6Hz – 17%
Mode 2 - 24.6Hz	Mode 2 - 21,2Hz – 14%
	Mode 3 - 25,6Hz
	Mode 4 - 26,4Hz
	Mode 5 - 28,6Hz
Mode 4 - 27.8Hz	Mode 6 - 29,1Hz – 5%
Mode 8 - 30.3Hz	Mode 7 - 30,6Hz – 1%

Il confronto dei **risultati dei modelli** con le **misure sperimentali** ne consente la **calibrazione**



23-24 Marzo 2021

Presentazione attività G.d.L ITCOLD Dispositivi di intercettazione e scarico

Principali aspetti e problemi sismici



Giorgia Faggiani (RSE)